

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-210790

(43)Date of publication of application : 07.08.1998

(51)Int.Cl.

H02P 7/63  
B60L 3/00  
H02M 7/48  
H02P 7/36

(21)Application number : 09-012135

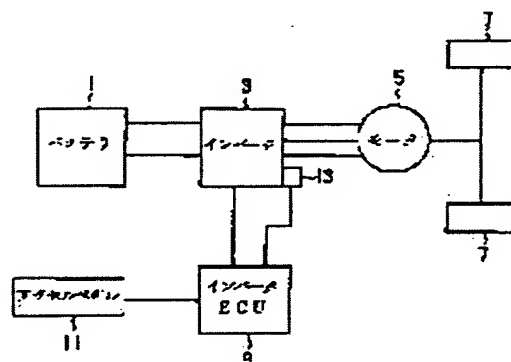
(71)Applicant : TOYOTA MOTOR CORP

(22)Date of filing : 27.01.1997

(72)Inventor : TAKI NOBUYUKI  
YAMADA ITSUSAKU**(54) OVERHEAT PROTECTOR FOR POWER CONVERTER, INVERTER CONTROLLER AND INVERTER COOLER FOR ELECTRIC AUTOMOBILE HAVING THAT FUNCTION****(57)Abstract:**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To prevent overheat of an element the switching element of an inverter is in high temperature state and the temperature of the element rises abruptly due to full opening of accelerator.

**SOLUTION:** An inverter ECU9 determines a torque (torque command) to be outputted from a motor 5 based on the opening A% of accelerator. The torque command is then regulated based on the temperature of a semiconductor element in an inverter 3 and the time variation rate thereof. A control signal corresponding to a regulated torque command is then generated. According to the control signal, the inverter 3 supplies a motor 5 with a current 5. When the temperature of the semiconductor element is high and the time variation rate thereof is also high, the torque command is reduced correspondingly. When the output torque is reduced, heat generation from the semiconductor element is also reduced and overheating of the element is prevented.

**LEGAL STATUS**

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-210790

(43) 公開日 平成10年(1998) 8月7日

(51) Int.Cl.<sup>5</sup>

識別記号

F I

H 0 2 P 7/63

3 0 2

H 0 2 P 7/63

3 0 2 S

B 6 0 L 3/00

B 6 0 L 3/00

J

H 0 2 M 7/48

H 0 2 M 7/48

M

H 0 2 P 7/36

H 0 2 P 7/36

U

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号

特願平9-12135

(22) 出願日

平成9年(1997) 1月27日

(71) 出願人 000003207

トヨタ自動車株式会社

愛知県豊田市トヨタ町1番地

(72) 発明者 滝 伸幸

愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内

(72) 発明者 山田 逸作

愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内

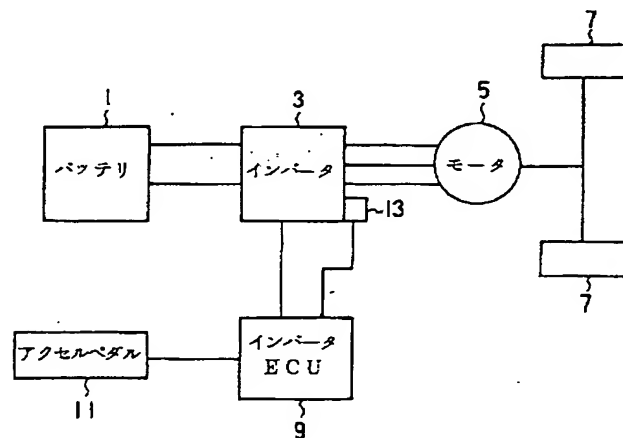
(74) 代理人 弁理士 吉田 研二 (外2名)

(54) 【発明の名称】 電力変換器の過熱保護装置、その機能を有する電気自動車のインバータ制御装置およびインバータ冷却装置

(57) 【要約】

【課題】 インバータのスイッチング素子が高温状態にあり、かつ、アクセル全開によって素子温度が急上昇したとき、素子過熱が発生するおそれがある。

【解決手段】 インバータ ECU 9 は、アクセル開度 A % を基に、モータ 5 が出力すべきトルク (トルク指令) を決定する。そして、インバータ 3 の半導体素子温度とその時間変化率を基に、決定したトルク指令を調整する。調整後のトルク指令に対応する制御信号を生成する。この制御信号に従って、インバータ 3 は電流を変換しモータ 5 に供給する。半導体素子温度が高温状態にあり、素子温度の時間変化率が大きいときは、これに応じてトルク指令が小さくされる。出力トルクを小さくすると半導体素子の発熱量も少なくなり、素子過熱が防止される。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 電源からの電力を変換して負荷装置に供給する電力変換器を使用時の過熱から保護する電力変換器の過熱保護装置であって、電力変換器の温度を検出する温度検出手段と、温度検出結果に基づいて、変換器温度の時間変化率を求める温度変化率演算手段と、変換器温度検出値とその時間変化率に応じて温度調整量を決定し、決定した温度調整量に従って電力変換器の温度を調整する変換器温度調整手段と、を含み、変換器温度の時間変化率に基づいた温度調整により、温度急上昇に伴う電力変換器の過熱を防ぐことを特徴とする電力変換器の過熱保護装置。

【請求項2】 請求項1に記載の装置において、前記負荷装置はモータであり、前記変換器温度調整手段は、電力変換器の電力変換を制御してモータの出力トルクを調整する制御装置に設けられ、変換器温度の調整は、出力トルク調整によって行われることを特徴とする電力変換器の過熱保護装置。

【請求項3】 請求項1に記載の装置において、前記変換器温度調整手段は、冷却媒体を流動させて電力変換器を冷却する冷却装置に設けられ、変換器温度の調整は、冷却媒体の流動量の変更によって行われることを特徴とする電力変換器の過熱保護装置。

【請求項4】 モータへ電流を供給するインバータを制御し、アクセル操作に応じた出力トルクをモータに発生させる電気自動車のインバータ制御装置であって、運転者のアクセル操作に基づいてトルク指令値を決定する指令値決定手段と、インバータの半導体素子温度を検出する温度検出手段と、半導体素子温度の時間変化率を求める温度変化率検出手段と、半導体素子温度およびその時間変化率に基づいて前記トルク指令値を調整する指令値調整手段と、指令値調整手段によって調整された調整トルク指令値に従ってインバータへの制御信号を生成する制御手段と、を有し、半導体素子温度の時間変化率に応じた出力トルクの調整によって、半導体素子の温度急上昇に伴う過熱を防ぐことを特徴とする電気自動車のインバータ制御装置。

【請求項5】 モータに電流を供給するインバータを冷却する電気自動車のインバータ冷却装置であって、インバータに設けられた冷却媒体通路に冷却媒体を送り込む冷却用ポンプと、インバータの半導体素子温度を検出する温度検出手段と、半導体素子温度の時間変化率を検出する温度変化率検出手段と、半導体素子温度およびその時間変化率に基づいて冷却媒

体の流動量を決定し、決定された流動量の従って冷却ポンプを制御するポンプ制御手段と、

を有し、半導体素子温度の時間変化率に応じた冷却媒体の流動量の調整によって、半導体素子の温度急上昇に伴う過熱を防ぐことを特徴とする電気自動車のインバータ冷却装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、インバータなどの電力変換器の過熱を防ぐ電力変換器過熱保護装置に関し、特に、電力変換器の発熱抑制や冷却によって過熱を防ぐ装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】従来、電源からの電力を変換して負荷装置に供給するためにインバータなどの電力変換器が用いられている。一般に電力変換器は、複数の半導体素子のスイッチング動作によって電力を変換する。半導体素子の内部損失に伴う発熱が原因となって半導体素子が過熱すると、素子破壊に至る可能性がある。そこで、従来より半導体素子の過熱を防ぐための技術が提案されている。ここでは、電気自動車に搭載されたインバータを保護する装置をとりあげて説明する。このインバータは、バッテリーからの電流を変換して車両駆動用のモータに供給する。

【0003】インバータの過熱を防止するためには、インバータを冷却する手法と、半導体素子自体の発熱を抑制する手法とが考えられる。前者の手法に用いる冷却装置は、例えば、冷却媒体たる冷却水をインバータのウォータジャケットに送り込むウォータポンプを有し、ジャケット内を冷却水が循環することによってインバータが冷却される。

【0004】また、特開平7-67389号公報に記載のモータ駆動装置には、インバータの放熱器上に温度スイッチが設けられている。このモータ駆動装置は、インバータが所定温度に達したことを検出するとモータを停止させる。これにより、上記所定温度を越えた過熱の防止が図られている。

【0005】また、モータの出力トルクを調整することによってインバータの発熱を抑制するインバータ制御装置が提案されている。モータの出力トルクが大きいと、そのときの半導体素子の発熱量も多く、出力トルクが小さければ半導体素子の発熱量も少ない。そこで、この従来例の制御装置は、下記のように、半導体素子の温度（以下、素子温度という）が高くなったときに、出力トルク調整によって半導体素子の発熱を抑制する。

【0006】この従来例のインバータ制御装置は、運転者のアクセル操作を検出するとともに、素子温度を検出する。通常、アクセル操作に応じてモータの出力トルクの要求値（トルク指令）が決定され、この要求値に対応する駆動信号がインバータに出力される。インバータ

は、駆動信号に従ってスイッチング動作し、これに応じてモータが上記要求値に示された出力トルクを発生する。

【0007】そして、この従来例のインバータ制御装置は、図10に示すように、素子温度が制限開始温度 $T_1$ 以上になったとき、出力トルクの要求値を下方に修正する。例えば、素子温度が $T_a$ であれば、トルク指令に制限率 $a$ がかけられる。そして、修正されたトルク指令に対応する駆動信号がインバータに出力される。モータの出力トルクが小さくなるようにインバータを制御すれば、これに伴って半導体素子の発熱量も少なくなる。従って、上記の制御によって半導体素子の過熱防止を図ることができる。

【0008】なお、図10に示すように、この従来例の制御装置では、半導体素子が破壊する素子破壊温度 $T_d$ よりも低い零出力温度 $T_2$ にて、トルク指令の制限率 $\alpha$ を0とする。従って、零出力温度 $T_2$ に達すると、出力トルクが0に落とされる。また、半導体素子が停止温度 $T_s$  ( $T_2 < T_s < T_d$ ) に達すると、インバータは、過熱防止のために自ら停止する。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】従来技術では、例えば、インバータの温度が所定温度に達したらモータを停止させることによって、インバータの過熱防止が図られる。しかし、インバータの温度が急上昇しているときには、モータを停止してもすぐには温度上昇がとまらずに、インバータの温度が上記の所定温度を上回る可能性がある。

【0010】また、図10の出力制限率を用いるインバータ制御装置において、素子温度が $T_2$ 付近であり運転者がアクセルを全開にしたとする。このとき、アクセル全開に応じてトルク指令が高くなり、素子温度が急上昇する。そして、素子温度が温度 $T_2$ になったときに出力トルクを0に落としても、温度上昇がすぐには止まらない。そのため、素子温度が温度 $T_2$ を上回ることがあり、素子過熱に至るおそれがある。

【0011】なお、図10における零出力温度 $T_2$ を低く設定すれば、上記のような素子温度の急上昇時にも過熱発生を防止できる。素子温度が $T_2$ を上回ってから素子過熱状態に至るまでに余裕ができるからである。しかし、この場合、図10の出力制限ラインが下方に設定される。従って、素子温度が急上昇していない場合にも多めに出力制限を施すことになるので好ましくない。

【0012】また、従来技術では、モータ巻線に短絡が発生した場合など、異常に高い電流がインバータに流れた場合に素子温度が急上昇する。そして、素子温度が容易に零出力温度 $T_2$ を越えて素子破壊温度 $T_d$ に至る。

【0013】以上のように、従来技術では、インバータの温度を判断基準とした温度調整によって過熱防止を図っているが、素子温度が急上昇した時には素子過熱状態

に至るおそれがあるという問題がある。この問題は、インバータに限らず、その他の電力変換器にも同様に発生し、また、電気自動車用の電力変換器に限らずに発生する。

【0014】本発明は、上記の課題を解決するためになされたものである。本発明の目的は、電力変換器の半導体素子の温度が急上昇したときでも素子過熱を確実に防止できる過熱保護装置を提供することにある。また、本発明の目的は、上記機能を備えた電気自動車用のインバータ制御装置やインバータ冷却装置を提供することにある。

【0015】

【課題を解決するための手段】

(1) 本発明の電力変換器の過熱保護装置は、電源からの電力を変換して負荷装置に供給する電力変換器を使用時の過熱から保護する装置であって、電力変換器の温度を検出する温度検出手段と、温度検出結果に基づいて、変換器温度の時間変化率を求める温度変化率演算手段と、変換器温度検出値とその時間変化率に応じて温度調整量を決定し、決定した温度調整量に従って電力変換器の温度を調整する変換器温度調整手段とを含み、変換器温度の時間変化率に基づいた温度調整により、温度急上昇に伴う電力変換器の過熱を防ぐ。

【0016】ここで、電源は例えばバッテリーやコンデンサであり、負荷装置は例えばモータや発電器であり、電力変換器は例えばインバータやチョッパである。また、温度検出手段は、半導体素子の温度を直接検出するものでもよく、電力変換器のその他の部分の温度を検出して半導体素子の温度を示すパラメータを得るものでもよい。

【0017】また、変換器温度調整手段による温度調整は、変換器自体の発熱抑制、あるいは、変換器冷却量の変更によって実現される。前者の発熱抑制は、例えば、負荷装置たるモータの出力制限を行うことにより実現される。出力トルクの制限に伴って半導体素子の発熱量が低下する。また、後者の冷却量の変更は、例えば、電力変換器に設けられた冷却装置の制御によって実現される。冷却装置が電力変換器へ送る冷却媒体の流動量を調整することにより冷却量が変わる。

【0018】本発明では、変換器温度に加え、その時間変化率に応じて温度調整量が決定される。時間変化率によって変換器の温度が急上昇しているか否かがわかる。そして、決定された温度調整量に従って電力変換器の温度が調整される。従って、本発明によれば、変換器温度が高い状態から急上昇したときでも、変換器温度の時間変化率に応じた温度調整により、変換器の過熱を防ぐことができる。

【0019】本発明により、変換器温度とその時間変化率に基づいて温度調整量を適切に設定することができる。すなわち、変換器温度の急上昇時には積極的な温度

調整を行うとともに、それ以外の場合に温度調整をなるべく行わない。これにより、発熱抑制のためのモータ出力の制限などを行うことを極力避けつつ、変換器温度の急上昇時の確実な過熱防止を実現できる。

【0020】なお、温度調整量の決定の仕方の一例を示すと、(a)変換器温度が高く時間変化率が大きい場合には、温度調整量を大きくする、(b)変換器温度が高く、時間変化率が小さい場合には、温度調整量を小さくする、(c)変換器温度が低いときには、時間変化率が高くても温度調整量を小さくする。

【0021】(2)また、本発明の電気自動車のインバータ制御装置は、モータへ電流を供給するインバータを制御し、アクセル操作に応じた出力トルクをモータに発生させる制御装置であって、運転者のアクセル操作に基づいてトルク指令値を決定する指令値決定手段と、インバータの半導体素子温度を検出する温度検出手段と、半導体素子温度の時間変化率を求める温度変化率検出手段と、半導体素子温度およびその時間変化率に基づいて前記トルク指令値を調整する指令値調整手段と、指令値調整手段によって調整された調整トルク指令値に従ってインバータへの制御信号を生成する制御手段とを有し、半導体素子温度の時間変化率に応じた出力トルクの調整によって、半導体素子の温度急上昇に伴う過熱を防ぐ。

【0022】ここで、温度検出手段は、半導体素子の温度を直接検出してもよい。また、インバータのその他の部分またはインバータ外部における素子温度を示すパラメータ（温度に限られない）を検出し、これに基づいて素子温度を判断してもよい。

【0023】温度変化率検出手段は、温度検出手段による検出結果に基づいて素子温度の時間変化率を求めてもよく、また、その他の検出値を基に時間変化率を求めてもよい。さらに、時間変化率を、推定によって求めてもよい。具体例としては、アクセル操作量に基づき、アクセル操作量が大きいときには素子温度の時間変化率が大きいと判断する。さらに、アクセル操作や車速など、複数の条件に基づいた判断を行ってもよい。

【0024】この構成では、素子温度検出値に加え、その時間変化率に応じてトルク指令値が調整される。上記時間変化率が大きいときは、素子温度が急上昇している。そこで、トルク指令値が小さく調整され、調整後のトルク指令値に従った制御信号がインバータに出力される。この駆動信号に従ってインバータが動作するので、モータの出力トルクが小さくなるとともに、インバータの素子温度も低下する。

【0025】本態様によれば、例えば、素子温度が高く、かつ、急上昇したときには、トルク指令を大幅に調整して素子過熱を防止する。素子温度が高くとも急上昇していない場合には、急上昇時ほど大幅にはトルク指令を調整しない。このようにして、必要度に応じたトルク調整を行いつつ、素子過熱の確実な防止を図ることがで

きる。

【0026】(3)また、本発明の電気自動車のインバータ冷却装置は、モータに電流を供給するインバータを冷却する装置であって、インバータに設けられた冷却媒体通路に冷却媒体を送り込む冷却用ポンプと、インバータの半導体素子温度を検出する温度検出手段と、半導体素子温度の時間変化率を検出する温度変化率検出手段と、半導体素子温度およびその時間変化率に基づいて冷却媒体の流動量を決定し、決定された流動量の従って冷却ポンプを制御するポンプ制御手段とを有し、半導体素子温度の時間変化率に応じた冷却媒体の流動量の調整によって、半導体素子の温度急上昇に伴う過熱を防ぐ。ここでも、温度検出手段や温度変化率検出手段には、前述の各種構成をとることができる。

【0027】この態様によれば、冷却媒体の流量が、素子温度検出値とその時間変化率に基づいて決定される。上記時間変化率が大きいときは、素子温度が急上昇している。そこで、冷却媒体の流動量が多く決められ、この流動量に従って冷却ポンプが駆動される。

【0028】本態様によれば、例えば、素子温度が高く、かつ、急上昇したときには、冷却媒体の流動量を多くして素子過熱を防止する。素子温度が高くとも急上昇していない場合には、急上昇時ほどには冷却媒体の流動量を多くしない。このようにして、冷却媒体の流動量を必要度に応じた設定として冷却装置のエネルギー消費を抑えつつ、素子過熱の確実な防止を図ることができる。

【0029】

【発明の実施の形態】以下、本発明の好適な実施の形態（以下、実施形態という）を、図面を参照し説明する。

【0030】「実施形態1」実施形態1では、本発明に特徴的な温度調整機能が、インバータを制御するインバータ制御装置に備えられる。図1は、本実施形態のインバータ制御装置が備えられた電気自動車の駆動システムを示すブロック図である。

【0031】電源装置たるバッテリー1にはインバータ3が接続され、インバータ3に車両駆動用のモータ5が接続されている。モータ5の出力軸は、回転軸や差動歯車装置を介して車輪7と連結されている。

【0032】インバータ3には複数のスイッチング素子が設けられている。スイッチング素子は、IGBT、バイポーラトランジスタ、サイリスタ、MOS-FET等の半導体素子である。インバータ3は、インバータECU9によって制御されている。そして、インバータECU9から入力される駆動信号に従って上記複数のスイッチング素子がスイッチング動作する。このスイッチング動作により、バッテリー1から供給された直流電流が交流に変換され、モータ5に供給される。

【0033】インバータECU9は、アクセルペダル11と接続されており、運転者がアクセルペダル11を踏み込んだときに、その踏み込み量を検出する。踏み込み量は

以下のように、アクセル開度A%を用いて表される。すなわち、アクセル全開時を100%とする。そして、アクセル全開時の踏み込み量に対する、そのときのアクセル踏み込み量の比率を%で表したものをアクセル開度A%とする。

【0034】また、インバータECU9は、インバータ3のケース内に設けられた温度センサ13と接続されている。温度センサ13からの入力に基づき、インバータECU9は、スイッチング素子の温度INV-Tを得る。ここでは、温度センサ13が素子温度INV-Tを直接検出するように構成してもよい。また、温度センサ13が、素子温度に応じて変化するようなある部位の温度を検出し、この温度からインバータECU9が素子温度INV-Tを求めるように構成してもよい。さらにまた、上記ある部位の温度を実際の素子温度INV-Tと同様に処理して下記の制御を実行するように構成してもよい。

【0035】さらに、インバータECU9は、素子温度INV-Tを基に、単位時間当たりの素子温度の変化量を求め、これを温度変化率 $\Delta T / \Delta t$ とする。このとき、インバータECU9は、内蔵するタイマ装置を用いて、単位時間の間に素子温度INV-Tがどれだけ変化したかを求める。

【0036】次に、本実施形態のインバータ制御装置の動作を説明する。インバータECU9は、図2に従って、アクセル開度A%から、モータが出力すべきトルクを求め、求めたトルクをトルク指令T\*とする。そして、図3に示された2種類の制限率、すなわち、第一制限率 $\alpha$ と第二制限率 $\beta$ を用いてトルク指令T\*を調整する。ここでは、トルク指令T\*に第一制限率 $\alpha$ と第二制限率 $\beta$ をかけたものが、調整後のトルク指令T\*とされる。

【0037】図3の左側には、第一制限率 $\alpha$ を規定する制限ラインmが示されている。第一制限率 $\alpha$ は、素子温度INV-Tに基づいて定められる。素子温度INV-Tが制限開始温度T1以下のとき、第一制限率 $\alpha$ は100%である。従って、第一制限率 $\alpha$ によっては、トルク指令T\*が変更されない。そして、素子温度INV-Tが、制限開始温度T1よりも高くなると、そのときの素子温度INV-Tに対応する第一制限率 $\alpha$ がトルク指令T\*にかけられる。素子温度INV-Tが零出力温度T2以上に達すると、第一制限率 $\alpha$ が0になり、トルク指令T\*も0になる。

【0038】図3の右側には、第二制限率 $\beta$ を規定する制限ラインnが示されている。第二制限率 $\beta$ は、温度変化率 $\Delta T / \Delta t$ に基づいて定められる。この第二制限率 $\beta$ は、素子温度INV-Tが上記の制限開始温度T1以上のときに用いられる。温度変化率 $\Delta T / \Delta t$ が第一基準値 $\delta 1$ 以下のとき、第二制限率 $\beta$ は100%である。従って、第二制限率 $\beta$ によっては、トルク指令T\*が変

更されない。そして、温度変化率 $\Delta T / \Delta t$ が、第一基準値 $\delta 1$ よりも高くなると、そのときの温度変化率 $\Delta T / \Delta t$ に対応する第二制限率 $\beta$ がトルク指令T\*にかけられる。温度変化率 $\Delta T / \Delta t$ が第二基準値 $\delta 2$ 以上に達すると、第二制限率 $\beta$ が0になり、トルク指令T\*も0になる。

【0039】図4は、上記の第一制限率 $\alpha$ および第二制限率 $\beta$ を用いてトルク指令T\*を調整する際の処理を示すフローチャートである。インバータECU9は、温度変化率 $\Delta T / \Delta t$ と第三基準値 $\delta 3$ を比較し(S10)、変化率 $\Delta T / \Delta t$ の方が大きい場合にはインバータ出力を0にする(シャットダウン)(S12)。第三基準値 $\delta 3$ は、スイッチング素子に異常に高い電流が流れたときの温度変化率を想定して設定されている。そのため、第三基準値 $\delta 3$ は、上記の第二基準値 $\delta 2$ よりもかなり大きな値に設定されている。ステップS10では、例えばモータ巻線の短絡発生などが原因となって素子温度INV-Tが異常な速さで上昇していることが検出される。

【0040】温度変化率 $\Delta T / \Delta t$ が第三基準値 $\delta 3$ 以下であれば、素子温度INV-Tと制限開始温度T1を比較する(S14)。そして、素子温度INV-Tの方が低ければスタートに戻る。このときは、アクセル開度A%から求めたトルク指令T\*をそのまま最終的な指令値とし、制限率を用いた調整は行わない。

【0041】一方、ステップS14にて $INV-T > T1$ であれば、図3左側の制限ラインmに従って素子温度INV-Tから第一制限率 $\alpha$ を決定し(S16)、さらに図3右側の制限ラインnに従って、温度変化率 $\Delta T / \Delta t$ から第二制限率 $\beta$ を決定する(S18)。そして、アクセル開度A%から求めたトルク指令T\*に、第一制限率 $\alpha$ と第二制限率 $\beta$ をかけ、その結果を最終的なトルク指令T\*とする(S20)。

【0042】インバータECU9内では、上記のフローチャートに従って求められたトルク指令T\*を基に、以下のようにして、インバータ3へ供給する駆動信号が生成される。すなわち、トルク指令T\*に対応するモータ電流が求められ、これが電流指令I\*として電流制御部に供給される。電流制御部は、電流指令I\*に基づき、後段のPWM制御部におけるPWMしきい値を示す電圧指令を発生させる。PWM制御部は、電圧指令を所定波形のキャリアと比較することにより、パルス幅変調(PWM)されたスイッチング信号を発生させる。このスイッチング信号が、駆動信号としてインバータ3へ供給される。

【0043】インバータ3の複数のスイッチング素子は、スイッチング信号に従ってスイッチングする。これにより、バッテリー1から供給された直流電流が交流に変換され、モータ5に供給される。ここに、電圧指令は電流指令に応じて生成され、また、スイッチング信号は電



圧指令に応じて生成されている。従って、インバータ3により、電流指令に応じた交流電流がモータ5に供給され、モータ5の出力トルクは上記トルク指令 $T^*$ に相当する値となる。

【0044】以上、本実施形態のインバータ制御装置の動作を説明した。通常運転時、スイッチング素子の温度は上昇しておらず、素子温度 $INV-T$ は制限開始温度 $T1$ よりも低い。従って、第一制限率 $\alpha$ や第二制限率 $\beta$ を用いたトルク指令の調整は行われない。

【0045】素子温度 $INV-T$ が上昇して制限開始温度 $T1$ を上回り、零出力温度 $T2$ に近い $Tb$ （図3）に達したとする。また、アクセルが半開状態であるので温度変化率 $\Delta T/\Delta t$ はあまり高くなく、 $\delta b$ （ $<\delta 1$ ）

（図3）であるとする。このとき、図3に示すように、温度 $Tb$ に対応する第一制限率は $\alpha a$ であり、温度変化率 $\delta b$ に対応する第二制限率は100%である。そこで、アクセル開度 $A\%$ から決定されたトルク指令に $\alpha b$ および1をかけた値が最終的なトルク指令 $T^*$ とされる。そして、この最終的なトルク指令 $T^*$ に対応する駆動信号がインバータ3に供給される。これにより、インバータ3におけるスイッチング素子の発熱量が小さくなる。出力トルクを制限すれば、その分だけスイッチング素子の発熱量も小さくなるからである。

【0046】素子温度 $INV-T$ が上記の $Tb$ であり、かつ、アクセル全開状態であるために温度変化率 $\Delta T/\Delta t$ が大きく、 $\delta c$ （ $\delta 1 < \delta c < \delta 2$ ）（図3）であったとする。このとき、第二制限率は、図3に示すように $\beta c$ となる。そこで、アクセル開度 $A\%$ から決定されたトルク指令に $\alpha b$ および $\beta c$ をかけた値が最終的なトルク指令 $T^*$ とされる。従って、このケースでは、上記のケースよりもトルク制限が大幅に行われる。

【0047】このように、本実施形態では、素子温度 $INV-T$ が高いときでも、その時間変化率 $\Delta T/\Delta t$ に応じ、必要な素子温度調整の程度が異なることに着目し、この必要性に応じたトルク制限を行っている。すなわち、素子温度が高くとも時間変化率が小さければ、素子温度が急上昇していないので、これに応じた適度なトルク制限を行う。素子温度が高く時間変化率も大きければ、温度急上昇による素子過熱が発生しないように、さらにトルク制限を行う。従って、本実施形態によれば、トルク制限を必要最小限に行いつつ、素子過熱を確実に防止できる。そして特に、素子温度が高くなった状態で、アクセル全開操作等により素子温度が急上昇した場合にも、スイッチング素子の過熱が確実に防止される。

【0048】図6を参照し、上記のように効率よく最低限の出力制限が行われていることを説明する。図6は、第一制限率を規定する制限ライン $m$ （図3と同等）と、従来の制限ライン（図10と同等）とを比較して示している。両制限ラインは、同種の車両駆動システムに適用したときのラインである。本実施形態では、従来よりも

零出力温度 $T2$ が高く設定され、制限ライン $m$ は従来よりも上方に設定されている。素子温度が急上昇していないときは、この設定をもって十分に素子過熱を防止できる。従って、本実施形態では、温度変化率が大きくないときには、従来よりも出力トルクを高くできるとともに（図6の斜線部分）、温度変化率が大きいときには、第二制限率 $\beta$ を用いて出力トルクが下げられ、素子過熱が確実に防止される。

【0049】また、本実施形態では、温度変化率 $\Delta T/\Delta t$ が第三基準値 $\delta 3$ を上回るときは、インバータ出力が0とされる（シャットダウン）。例えば、モータ巻線の短絡発生などによってスイッチング素子に異常に高い電流が流れたとき、素子温度が異常に速く上昇する。このとき、従来技術のように、素子温度が零出力温度 $T2$ に達してからトルク指令 $T^*$ を0に落としたのでは、素子温度がオーバーシュートして過熱域に至るおそれがある。一方、上記制御では、温度変化率 $\Delta T/\Delta t$ が第三基準値 $\delta 3$ を上回った時点でインバータ出力を0にするので、素子の過熱が防止される。

【0050】本実施形態では、素子温度 $INV-T$ と温度変化率 $\Delta T/\Delta t$ を基に、トルク指令 $T^*$ を調整した。これに対し、その他の制御値を調整してもよい。すなわち、トルク指令 $T^*$ の代わりに、上記の電流指令 $I^*$ や電圧指令、あるいはスイッチング信号を調整してもよい。また、素子温度 $INV-T$ に基づいてトルク指令 $T^*$ を調整するとともに、後段で、温度変化率 $\Delta T/\Delta t$ に基づいて電圧指令を調整するといったことも考えられる。

【0051】また、本実施形態の変形例として、図5に示すようなマップを設けておいてもよい。このマップには、素子温度 $INV-T$ と温度変化率 $\Delta T/\Delta t$ に関連付けて出力制限率 $\gamma$ が定められている。すなわち、マップ上の出力制限率 $\gamma$ は、上記の第一制限率 $\alpha$ と第二制限率 $\beta$ の積に相当する。インバータ $ECU9$ は、まず、前出のように、図4のフローチャートのステップ $S10 \sim S14$ を実行した後、図5のマップから出力制限率 $\gamma$ を求め、この制限率 $\gamma$ を用いてトルク指令を修正する。そして、修正されたトルク指令に対応する駆動信号をインバータに出力する。

【0052】「実施形態2」実施形態2では、本発明に特徴的な温度調整機能が、インバータを冷却するインバータ冷却装置に備えられる。図7は、本実施形態のインバータ冷却装置が備えられた電気自動車の駆動システムを示すブロック図である。図7において、図1と同等の構成には、同一の符号が付されている。以下において、実施形態1と同様の部分については、適宜説明を省略する。

【0053】実施形態1と同様に、電源装置たるバッテリー1にはインバータ3が接続され、インバータ3に車両駆動用のモータ5が接続されている。モータ5の出力軸



は、回転軸や差動歯車装置を介して車輪7と連結されている。

【0054】インバータ3には、複数のスイッチング素子が設けられている。インバータ3は、インバータECU20によって制御されている。インバータECU20は、実施形態1と同様に、アクセルペダル11と接続されており、アクセル開度A%を検出する。そして、前述の図2に従って、アクセル開度A%からトルク指令T\*を求める。トルク指令T\*を基に、電圧指令が生成され、電圧指令を所定波形のキャリアと比較することにより、パルス幅変調(PWM)されたスイッチング信号が生成される。このスイッチング信号は、駆動信号としてインバータ3へ供給される。インバータ3の複数のスイッチング素子は、スイッチング信号に従ってスイッチングする。これにより、バッテリー1から供給された直流電流が交流に変換され、モータ5に供給される。このようにして、モータ5の出力トルクは、上記トルク指令T\*に相当する値となる。

【0055】また、インバータ3には、冷却水を通すウォータジャケットが設けられている。そして、インバータ3には、冷却水をウォータジャケットに送り込むためのウォータポンプ22が取り付けられている。スイッチング素子やその他の部位に発生した熱は、ウォータジャケット内の冷却水に伝わる。ウォータポンプ22が駆動すると、冷却水はジャケット内と図示しない放熱器を循環する。このようにして、インバータが冷却される。

【0056】ウォータポンプ22はポンプ用モータを有し、ポンプ用モータの回転力によって駆動される。ポンプ用モータは、インバータECU20によって制御されている。インバータECU20は、ポンプ用モータの作動電圧Pを決定し、この作動電圧Pに対応する電圧指示信号をポンプ用モータに供給する。ポンプ用モータは、電圧指示信号に従い、この信号に示され作動電圧Pにて駆動する。

【0057】ポンプ用モータの回転数は、作動電圧Pに応じて変化する。そして、冷却水の流量は、ポンプ用モータの回転数に応じて変化する。従って、インバータECU20は、ポンプ用モータを制御することによって、冷却水の流量を調整できる。

【0058】また、インバータECU20は、実施形態1と同様に、インバータ3のケース内に設けられた温度センサ13と接続されており、素子温度INV-Tを検出する。さらに、インバータECU20は、素子温度INV-Tを基に温度変化率(素子温度の時間変化率) $\Delta T/\Delta t$ を求める。

【0059】次に、本実施形態のインバータ冷却装置の動作を説明する。図8は、インバータECU20が、ウォータポンプ22のポンプ用モータの制御のために行う処理を示すフローチャートである。走行開始後、所定時間ごとに、素子温度INV-Tが検出され(S30)、

温度変化率 $\Delta T/\Delta t$ が求められる(S32)。そして、素子温度INV-Tおよび温度変化率 $\Delta T/\Delta t$ を基に、図9のマップを用いて、ポンプ用モータの作動電圧Pが決定される(S34)。

【0060】図9において、横軸は素子温度INV-Tであり、縦軸は温度変化率 $\Delta T/\Delta t$ である。そして、ポンプ用モータの作動電圧Pが、マップ上の右下がりの直線によって区切られた領域ごとに規定されている。図示のように、素子温度が低く温度変化率が小さいときには、作動電圧P=0である。素子温度および温度変化率がこの領域にあるときは、冷却水を循環させてのインバータ冷却が不要だからである。そして、素子温度が高くなり温度変化率が大きくなるに従って、作動電圧の設定がP0、P1、P2、P3、P4・・・と変更される。ここで、 $P0 < P1 < P2 < P3 < P4 \cdots$ の関係にある。従って、同一の温度変化率であっても、素子温度が高いほど作動電圧Pが大きくなる。また、同一の素子温度であっても、温度変化率が大きいほど作動電圧Pが大きくなる。

【0061】インバータECU20は、決定した作動電圧Pに対応する電圧指示信号を生成し、ポンプ用モータに出力する(S36)。ポンプ用モータは、電圧指示信号に示される作動電圧Pにて回転駆動する。従ってポンプ用モータは、図9のマップに従って決定された作動電圧Pに応じた回転数で回転し、この回転数に応じた流量の冷却水が、ウォータジャケットと放熱器を循環する。なお、作動電圧P=0のときは、ウォータポンプが停止する。そして、インバータECU20は、ステップS30に戻り、同様の制御を繰り返す。

【0062】以上、本実施形態のインバータ冷却装置の動作を説明した。スイッチング素子の温度が上昇しておらず、温度変化率 $\Delta T/\Delta t$ も低いときは、冷却水が循環しなくとも素子過熱が発生しない。そこで、ポンプ用モータは停止され、消費電力が節約される。

【0063】素子温度INV-Tが高くなると、冷却水を循環しての冷却が必要になる。このとき、素子温度INV-Tが高いほど、冷却水の流量を増大させて、より多くの熱を逃がす必要がある。そこで、本実施形態では、素子温度INV-Tが高いときほど作動電圧Pが高く設定される。また、温度変化率 $\Delta T/\Delta t$ が大きいほど、素子温度が急上昇しており、素子温度が過熱域に入る可能性が高い。温度変化率が大きくなるのは、実施形態1に説明したように、例えばアクセル全開時である。そこで、温度変化率 $\Delta T/\Delta t$ が大きいときほど、作動電圧Pを高く設定する。これにより、冷却水の流量が増大し、より多くの熱が冷却水に逃げる。

【0064】このように、本実施形態では、素子温度INV-Tが高いときでも、その時間変化率 $\Delta T/\Delta t$ に応じ、必要な素子温度調整の程度が異なることに着目し、この必要性に応じた冷却を行っている。すなわち、

素子温度が高くとも時間変化率が小さければ、素子温度が急上昇していないので、これに応じた適度な冷却を行う。素子温度が高く時間変化率も大きければ、温度急上昇による素子過熱が発生しないように、冷却水の流量を多くする。従って、本実施形態によれば、ポンプ用モータの作動電圧を必要最小限に抑えてエネルギー消費を低減しつつ、素子過熱を確実に防止できる。そして特に、素子温度が高くなった状態で、アクセル全開操作等により素子温度が急上昇した場合にも、素子の過熱が確実に防止される。

【0065】本実施形態では、バッテリーからの電流をモータに供給するためのインバータを冷却する装置に本発明が適用された。これに対し、本発明は、発電機が発電した電流を変換してバッテリーに供給するインバータにも同様に適用できる。

【0066】また、実施形態1ではモータの出力トルク制限を行い、実施形態2では冷却水の流量を調整している。実施形態1と実施形態2の両構成を電気自動車の駆動システムに設け、半導体素子の過熱防止を図ってもよいことはもちろんである。一例として、実施形態2のポンプ用モータ制御による過熱防止を、素子温度  $INV-T$  が比較的低いときに行う。そして、実施形態1のトルク調整による過熱防止を高温側で行う。このように構成すれば、冷却装置による過熱防止が優先して実行され、冷却装置のみでは不十分なときにトルク調整が行われる。従って、トルク制限を行うこと極力避けることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の実施形態1のインバータ制御装置を備えた電気自動車の駆動システムの構成を示すブロック図である。

【図2】 アクセル開度とトルク指令の関係を示す説明図である。

【図3】 トルク指令を調整するための制限率を規定する制限ラインを示す説明図である。

【図4】 図3の制限率を用いたトルク指令の調整処理を示すフローチャートである。

【図5】 実施形態1の変形例における、トルク指令の調整用の出力制限率を求めるためのマップを示す説明図である。

【図6】 実施形態1の第一制限率を規定する制限ラインと、従来の制限ラインとを比較して示す説明図である。

【図7】 実施形態2のインバータ冷却装置を備えた電気自動車の駆動システムの構成を示すブロック図である。

【図8】 実施形態2のインバータ冷却装置の動作を示すフローチャートである。

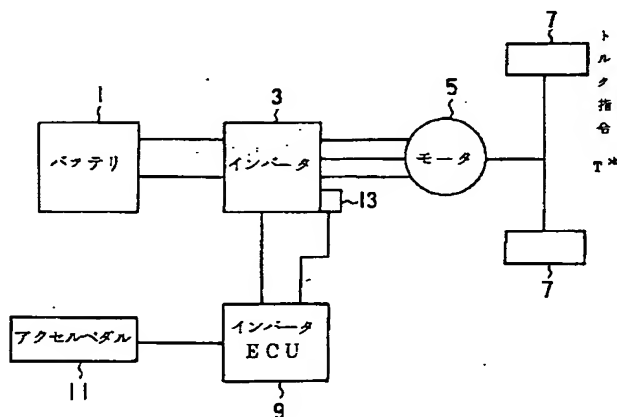
【図9】 冷却装置のポンプ用モータの作動電圧を決定するためのマップを示す説明図である。

【図10】 従来技術において、モータ出力トルク調整のために用いられる出力制限率を示す説明図である。

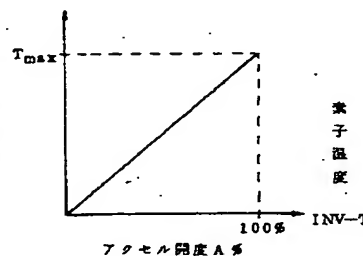
【符号の説明】

1 バッテリー、3 インバータ、5 モータ、7 車輪、9、20 インバータECU、11 アクセルペダル、13 温度センサ、22 ウォータポンプ。

【図1】



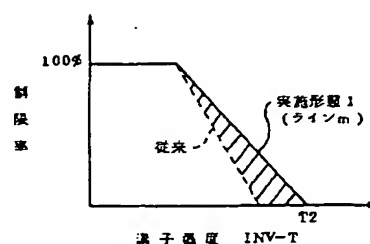
【図2】



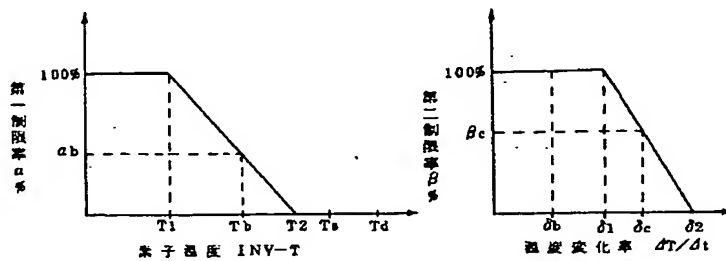
【図5】

温度変化率 $dT/dt$			
		$\delta$	-----
	$T$	$r$	

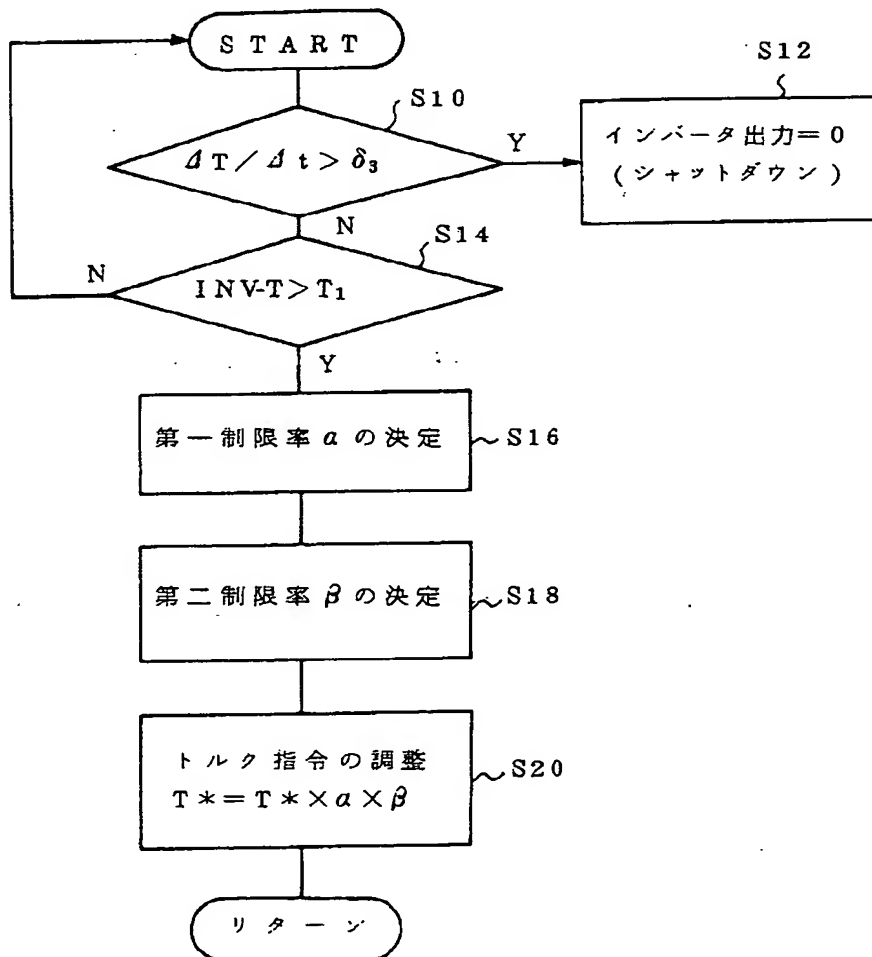
【図6】



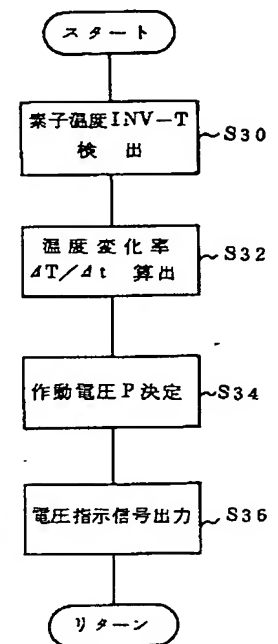
【図3】



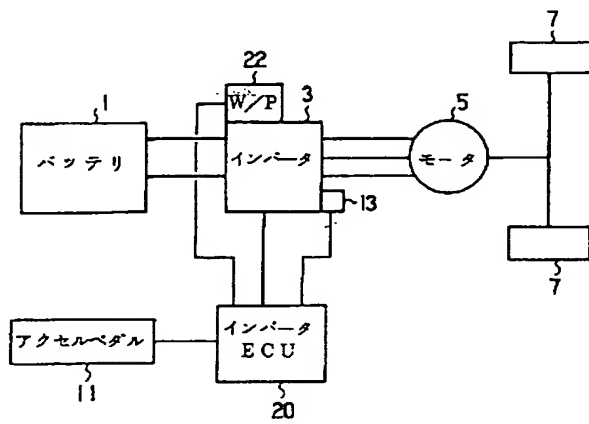
【図4】



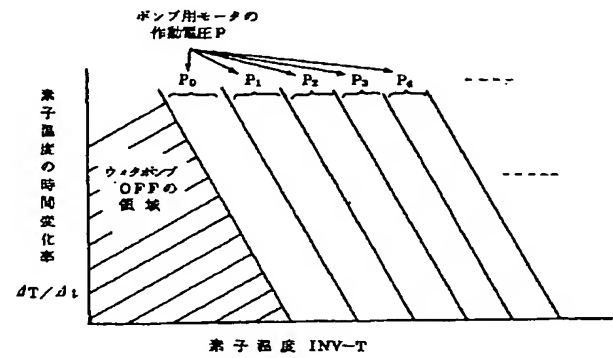
【図8】



【図7】



【図9】



【図10】

